

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(1)Publication number : 11-134517  
(4)Date of publication of application : 21.05.1999

(51)Int.Cl.	G06T 17/00 G01B 11/24
(21)Application number : 09-301637	(71)Applicant : MINOLTA CO LTD
(22)Date of filing : 04.11.1997	(72)Inventor : FUKUSHIMA SHIGENOBU KARASAKI TOSHIHIKO

## (54) THREE-DIMENSIONAL SHAPE DATA PROCESSOR

(57)Abstract  
PROBLEM TO BE SOLVED: To surely repair a missing part by simply detecting the missing part of three-dimensional shape data.  
SOLUTION: It is constituted that plural section shape data are obtained by cutting a three-dimensional shape which three-dimensional shape data indicate by plural planes by a section plane generating means, a missing part of an outline is extracted from the section shape data by a missing part extracting means, the extracted missing part is complemented by a section repair means and the section shape data are repaired, and a recovery means recovers the three-dimensional shape data by using the repaired section shape data.

(19)日本国特許庁(JP) (12)公開特許公報 (A) (11)特許出願公開番号  
特開平 11-134517  
(43)公開日 平成11年(1999)5月21日

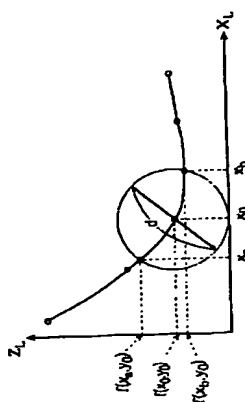
(51)Int.Cl. <sup>4</sup> G06T 17/00 G01B 11/24	識別記号 FI G06F 15/62 350 A G01B 11/24 A
特願平9-301637 平成9年(1997)11月4日	要査請求 未請求 請求項の数 6 OL (全30頁)
(21)出願番号	(71)出願人 000006079 ミノルタ株式会社 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル
(22)出願日	(72)発明者 福嶋 茂信 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内
	(72)発明者 唐崎 敬彦 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内
	(74)代理人 弁理士 中島 司朗

## (54)【発明の名称】 3次元形状データ処理装置

### (57)【要約】

【課題】 3次元形状データの欠損部分を容易に検出し、確実に欠損部分を修復できるようにすることを目的とする。

【解決手段】 断面生成手段により3次元形状データが表す3次元形状を複数の平面で切断して複数の断面形状データを得、欠損部分抽出手段により前記断面形状データから輪郭の欠損部分を抽出し、断面修復手段により抽出された欠損部分を補完して断面形状データを修復し、復元手段が修復された断面形状データを用いて3次元形状データを復元するように構成する。





における座標系との対応関係を図5に示す。図5 (b)においてビューワー系の座標は立体モデルデータの左下を原点としている。これに対してキャンパスにおける座標系は基準平面と呼ぶ仮想的な平面体の中心を原点とし、この平面上に設定されるX軸、Y軸を基準とする座標系を形成する。この基準平面は使用者が立体モデルのどの部分を計測し、修復するか等を指定するために用いる仮想的な平面体であり、ビューワーにおいて立体モデルと共に表示される。なお、基準平面の表側にあるポリゴンメッシュはZ座標において正の座標値をとり、裏側にあるポリゴンメッシュはZ座標において負の座標値をとるようにしてある。

【0017】基準平面について図6、図7を参照しながら説明する。図6 (a)に示すように基準平面の中心位置には、キャンパス座標系の軸が交差している。直交点がキャンパス座標系における原点となる。これらのX軸Y軸Z軸は基準平面と共に表示され、また、各軸は区別が容易なように異なる色に設定され、さらに、その正の部分と負の部分でも異なる色となるようにしてある。

【0018】図6 (a)に示す基準平面は図6 (b)に示すデータ構造で表現される。即ち基準平面は、法線ベクトル  $(p, q, r)$  と、ビューワー座標系で表された中心位置の座標  $(X_a, Y_a, Z_a)$  と、縦横比と、横傾角とを対応つけたデータ構造で表現される。ビューワー座標系において基準平面上の任意の座標  $(X, Y, Z)$  と法線ベクトル  $(p, q, r)$  との間には  $p(X - X_a) + q(Y - Y_a) + r(Z - Z_a) = 0$  の関係が成立する。【0019】また、基準平面は6自由度 (3次元空間における位置と姿勢) を持つ。即ち、図7 (a)に示すように、基準平面の姿勢は、使用者の操作に応じて軸周りの矢印  $R_x, R_y, R_z$  方向に回転し、図7 (b)に示すように、基準平面の位置は軸周りの矢印  $m_x, m_y, m_z$  方向にスライドするようにしてある。マウス5及びキーボード6は、キャンパスやビューワー内の位置の指定や、各種パネルに設定されるボタンを指示し、数値を入力するための入力装置である。

【0020】図1システム7はイベント管理を行い、ディスプレイ4におけるキャンパス及びビューワーの割り当てや、各種メニューを割り当てて制御する。メインモジュール8は、メインルーチンの手順を記述した実行形式のプログラムであり、メジャーリングモジュール9は、メインルーチンから分岐するメジャーリング処理やその他の処理の手順を記述した実行形式のプログラムである。これらのモジュールはディスク装置3からメモリ上にロードされ、プロセッサ10によって逐一実行される。

【0021】プロセッサ10は、解法器、AJL、各種レジスタを具備した集積回路でありメインモジュール8、メジャーリングモジュール9の内容に基づいて各種3次

元データ処理を制御する。なお、上記3次元データ処理装置は、光学的測定部1のデータを入力できるようにした通常のコンピュータを用い、当該コンピュータに以下に示す動作・機能を行わせるようなプログラムを内蔵させることによって実現可能であり、当該プログラムはCD-ROMのような当該コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録することができる。

【0022】(2)制御動作の概要  
次に、図8のメインフローチャートを参照しながらメインモジュール8に基づいてプロセッサの制御内容について説明を行う。まず、ステップ10でプロセッサ10は、ハードウェアの初期化や各種ウィンドウの表示等の初期設定を行う。初期設定後、ディスプレイ4には立体モデルデータ取り込み処理、メジャーリング処理、その他の処理の向れを執行するかを使用者に問うPOPUPメニューを表示する。ここで使用者が立体モデルデータ取り込み処理を選択するとステップ11がYesになりステップ12に移行する。

【0023】ステップ12ではプロセッサ10は光学的測定部1を起動し、光学的測定部1により測定対象にレーザを照射させ、その反射光を測定させる。レーザ照射対象が済むと、測定対象モデル化部2に測定結果に基づいて立体モデルデータを生成させる。これにより図2の説明に示したような立体モデルデータが生成される。このように立体モデルを生成すると、ステップ17においてプロセッサ10は生成した立体モデルデータをビューワーに表示する。ステップ17によりディスプレイは、図4に示した表示例のような画面になる。この画面におけるカーソル位置は、図1システム7のイベント管理によって適宜移動する。

【0024】また、使用者が立体モデルデータの計測、修復処理を選択するとステップ13がYesとなり、ステップ14へ移行する。この処理の内容については後に詳述する。使用者がこれら以外の処理を選択すると、S15がYesとなり、ステップ16へ移行し、プロセッサ10はデータの削除、交換等の加工処理や、立体モデルの回転、移動等の処理を行わせる。

【0025】(3)メジャーリング処理  
続いて、図8のメジャーリング処理の内容について詳述する。図9に、メジャーリング処理のメインフローチャートを示す。メジャーリング処理に移行するとディスプレイ4には図10に示すようなメジャーリング処理操作パネル70が表示され、イベント待機状態となる。メジャーリング処理は、図のメジャーリング処理操作パネル70に対するボタンのクリックに応じて各種モードを起動する。

【0026】図10に示すようにメジャーリング処理操作パネル70は、使用者の指示を受け付けて各種モードを起動すべく次のようなボタンを有する。即ち、(1)基準平面により立体モデルを仮想的に切断しその切断面の

断面線や周囲長を計算する切断モードを起動するための切断モード起動ボタン71、(2)立体モデルの2点間の距離や、表面上の経路長を求めた距離モードを起動するための距離モード起動ボタン72、(3)立体モデル表面の特徴量を求めた曲面モードを起動するための曲面モード起動ボタン73、(4)立体モデルの欠損部分を自動的に修復する修復モードを起動するための修復モード起動ボタン74が設けられている。

【0027】さらに、使用者の指示を受けつづけるためのボタンとして基準平面を移動させるための基準平面移動ボタン76、基準平面を回転させるための基準平面回転ボタン77、立体モデルをロードするための立体モデルロードボタン78、処理を終了するためのメジャーリング処理終了ボタン79を有している。また、使用者に測定結果等を表示するために、形状モデルのビューワー表示表示部81、基準平面に切断された立体モデルの切断面の周囲長と断面線を表示する断面情報表示部82、2点間の距離や経路長を表示する距離情報表示部83を有している。

【0028】使用者はマウスやキーボードを操作して、メジャーリング処理操作パネル70上の各ボタンにカーソルを移動させ指示を入力する。ここで使用者のボタン操作によりイベントが入力されると、ステップ31へステップ36の判定ステップの順列に移行し、何れかのステップにおいて「Yes」になるまで順次判定が実行されてゆく。

【0029】(3-1)基準平面表示処理  
基準平面表示処理は、基準物体がビューワーに表示されていない場合に図9のステップ31を介して実行される。本3次元形状データ処理装置が起動した状態では、基準平面が未表示であるから通常はステップ31に移行して基準平面表示処理がなされる。この基準平面表示処理は立体モデルのサイズに基準平面を適合させて表示することを主眼としている。

【0030】立体モデルとの適合が如何に行われるかを図11のフローチャートを参照しながら説明する。まず、ステップ101では図3に示す視点リストからX座標Y座標Z座標の最大値、最小値を探索する。ステップ102では、探索された最大値、最小値から立体モデルのXYZ各方向のサイズを計算する。ステップ101によって既に頂点の座標の最大値、最小値が探索されているから、これらに基づいて立体モデルデータの縦のサイズ及び横のサイズが算出される。算出された各サイズは図10に示すメジャーリング処理操作パネル70上のモデルサイズ表示部81に表示される。

【0031】ステップ102の実行後、ステップ103においてプロセッサ10は計算された立体モデルの縦のサイズ及び横のサイズに合うように基準平面のサイズを決定する。ここでは、基準平面の1辺を立体モデルのX

Y Z各方向におけるサイズの最大値に1.1倍を掛けた長さとする。ステップ103の実行後、ステップ104に移行して、プロセッサ10はX座標Y座標Z座標の最大値、最小値を用いて立体モデルデータが占めている範囲を計算し、その中心位置を算出する。ここで算出された位置が基準平面の中心位置となる。ステップ104が終了するとステップ105においてプロセッサ10はビューワーにおける中心位置に基準平面を置く。最後に、基準平面が立体モデルデータの中央に居る状態でビューワー上に表示されて示す。

【0032】(3-2)基準平面移動・回転処理  
使用者によりメジャーリング処理操作パネル70の基準平面移動ボタン76又は基準平面回転ボタン77が操作されると、図9のステップ32より、基準平面移動・回転処理へ移行する。基準平面は使用者が立体モデルのどの部分を計測し、修復するか等を指定するためのものであり、この表示された基準平面は使用者の操作に従って移動および回転させられる。図12に基準平面移動・回転処理のフローチャートを示す。

【0033】基準平面移動・回転処理には、基準平面回転ボタン77により起動される基準平面の姿勢を変える処理(1)と、基準平面移動ボタン78により起動される基準平面の位置を変える処理(2)とがある。(1)における回転処理及び(2)における移動処理は使用者により入力されるイベント量によって決定される。イベント量は、ここでは図13に示す基準平面回転ボタン77、基準平面移動ボタン78をクリックすると表示される回転・移動量入力パネル90を用いて使用者がイベント量を入力する。具体的には、使用者は回転・移動量入力パネル90の各座標の入力位置をカーソルで指示して所望の数値をキータイプすることでイベント量を入力する。

【0034】基準平面移動・回転処理では、まず、ステップ111においてこの使用者により入力されるイベント量が検出される。入力されたイベント量は各座標ごとに表示部91、92、93に表示される。使用者が確定ボタン94をクリックすると表示された入力値が確定されイベント量が受け付けられる。なお、イベント量の入力力はマウス5の走行操作により与えられるマウス5に内蔵される球体の回転量を用いてもよい。

【0035】次に、ステップ112において基準平面回転ボタン77がクリックされた状態あるか否かが判断される。ここで、基準平面回転ボタン77がクリックされた状態である場合は回転量の入力がされたかと判断され、ステッ113に移行する。ステッ113でプロセッサ10はステッ111において検出されたイベント量に基づいて各基準平面の回転量を計算する。ステッ113の実行後ステップ114に移行し基準平面を各基準平面周りにそれぞれ計算された回転量だけ回転する (図7 (a) 参照)。最後に、ステップ118に移行

し、基準物を回転により得られた姿勢により再表示する。その後、図9に示すメインルーチンへ戻る。

【0036】ステップ112でNoと判断されると、ステップ115へ移行し基準平面移動ボタン76がクリックされた状態であるか否かが判断される。ここで、基準平面移動ボタン76がクリックされた状態である場合は移動量の入力が入力されたと判断され、ステップ116に移行する。ステップ116ではステップ111で入力されたイベント量から基準軸方向の移動量が計算され、さらに、ステップ117で計算された移動量が基準平面のピッチ・ヨー座標系における原点座標値に加算される。即ち、ピッチ・ヨー座標系における基準平面の中心座標値(Xa, Ya, Za)とすると、これにステップ35で算出された移動量が新たに加算される。これらの処理により、基準平面の位置はイベント量に拘らず自在にスライドすることになる(図7(b)参照)。その後、やはりステップ57に移行し、基準物を移動した位置に再表示し、図9に示すメインルーチンへ戻る。

【0037】以上のような動作により、使用者の指示に応じて基準平面と立体モデルの交角角度を自由に变化させることができ、基準平面を自在にスライドさせることにより、立体モデルの切断位置を自在に切り替えることができる。

### (3-3) 切断モード処理

図9のメインフローにおいて切断モード起動ボタン71が操作されるとステップ40の切断モード処理へ移行する。図14に切断モード処理を扱うフローチャートを示す。図14のフローチャートに示すように、切断モード処理ではステップ61における断面データ計算処理で基準平面を切り口とした立体モデルデータの断面データを計算し、ステップ62の断面表示処理において計算された断面データに基づいてキャンパス上に断面像を表示する。それからステップ63の断面像測定処理において断面データに基づいてその断面像を計算し、ステップ64の輪郭長測定処理においてその断面の輪郭長を測定する。最後にステップ65の断面像・輪郭長表示ステップにおいて、断面像及び輪郭長を表示する。上記の各処理については以下にさらに詳述する。

【0038】(3-3-1) 断面データ計算モード  
『断面データ』とは基準平面-立体モデル間の交点と、これらの交点を結ぶ線分とによって立体モデルの断面を表現した情報である。断面データの算出手順は図15から図17までのフローチャートで表現される。図15(a) (b)のフローチャートにおいて『断面1』とは基準平面上に得られた複数の断面データのそれぞれを指示する変数である。断面データ計算処理では、まず、プロセス110はステップ201においてポリゴンメッシュの頂点座標をキャンパス座標系に変換する。それから、ステップ202では線分のなごき合わせ処理を行うため、図15(b)のフローチャートに分散する。図15

る場合は線分を含む線分iを抽出し、線分mを線分iに連結する。以上の処理が全ての線分k ( $k=1, 2, \dots, n$ ) について繰り返されると、例えば図19(b)に示す線分群は、図19(c)に示すように基準平面上の折れ線状の線分となる。なお、図19(c)においてy2704, y2705, y2706, y2707間では直線と結ばれていない。これは欠損部が基準平面上に表れた結果である。

【0043】(3-3-4) 断面データ判定処理  
『線分の連結処理』を終えると、図15(b)のステップ303に移行して、全ての断面iが閉じているのか、開いているかを判定する。ステップ305においてプロセス110は、断面iについて線分の開始点と終了点とが一致もしくは所定距離の範囲内にあるか否かを判定する。もしそうであれば、ステップ306に移行してこれを閉じた断面とみなし、当該断面iについて断面フラグFiを断面が閉じていることを示す0に設定する。一方、図19(c)の交点y2704-交点y2705、交点y2706-交点y2707間のように線分の開始点と終了点間が所定距離以上離れていればステップ307において最寄りの線分を探索する。探索で線分が見つかったと、ステップ308においてプロセス110は線分列との距離が所定値以上開いているかを判定する。もし、所定値以上開いていない場合は当該線分列と接して再びステップ305に戻る。一方、所定値以上開いていれば、ステップ310に移行し当該断面iについて線分の断面フラグFiを断面が開いていることを示す1に設定する。以上の処理を全ての断面i ( $i=1, 2, \dots, n$ ) について終了すると、図15(a)におけるステップ203に戻る。ステップ203では、断面データの頂点をキャンパス座標系に変換する。ステップ203の実行後、ステップ204に移行して断面の輪郭を作成する。

【0044】(3-3-5) 断面表示処理  
図14のステップ62の断面表示処理では線分の連結体として表現された輪郭線を断面像としてキャンパスに表示する。この表示において、前記断面フラグFiを参照して、輪郭線が閉じた断面が開いた断面かによって表示を変える。即ち、Fi=0で輪郭線が閉じた断面である場合は、当該断面を『厚緑色』で断面内部を塗り渡してキャンパスの1つに表示する。この塗り渡しは、既存のグラフィックスシステムで実現されている色彩変換アルゴリズムで簡易に実現される。一方、Fi=1で輪郭線が開いていれば『黄色』で断面を示す交線のみを表示する。これは上記の色彩変換アルゴリズムで輪郭線が開いている断面内を塗り渡そうとすると断面外の部分を誤って塗り渡してしまうからであり、基準平面の交線を異なる色で描画するのみに留めるのである。

【0045】(3-3-6) 断面像測定処理  
図14のステップ63の『断面像測定処理』では、基準平面上における断面像を多角形近似で計算する。即ち、図

20(a)に示すような断面を構成する交点が算出されている場合、図20(b)に示すように隣合う交点と原点により構成される三角形の面積 ( $\text{Sum1}, \text{Sum2}, \text{Sum3}, \dots$ ) を総和することにより断面像を計算する。各三角形の面積は原点から隣合う交点へ向かうベクトルの外積をもとに計算する。なお、原点が断面の外側に位置する場合、断面の輪郭の外側に接するベクトルにより形成される三角形の面積は負の値に、断面の輪郭の内側に接するベクトルにより形成される三角形の面積は正の値にすることにより断面像を得ることができる。

【0046】(3-3-7) 輪郭長測定処理  
図14のステップ64の『輪郭長測定』では、断面の輪郭長を折れ線長(線分列長)に近似して計算する。例えば図20(a)のように交点が得られている場合には、隣合う交点により構成される各線分の和 ( $\text{Len1} + \text{Len2} + \text{Len3} + \text{Len4} + \dots$ ) により輪郭長が算出される。なお、断面が開いている場合は、輪郭線の始点・終点間の距離を輪郭長Lenを加算する。

【0047】以上の処理が終わると、図14のステップ65により算出された断面像及び輪郭長をメジャーリング処理操作パネル70の断面情報表示部82に有効数字4桁で表示して切断モード処理を終える。

(3-4) 距離モード処理  
図9のフローチャートにおいて、メジャーリング処理操作パネル70の距離モード起動ボタン72が操作されると、ステップ41の距離モード処理へ移行する。距離モード処理では、立体モデルデータが置かれた3次元空間における所定の距離が測定される。

【0048】ここでは立体モデル中の2点間の直線距離と、立体モデル表面上を通る経路の長さを測定するものと、さらに、経路長は、一平面上に存在する経路の長さとし、一平面上に存在しない経路の長さの2種類に分けて処理を行う。図21に距離モード処理を扱うフローチャートを示す。まず、距離モードが起動すると、ステップ601により図22に示す選択用パネル130がポップアップ表示される。選択用パネル130には2点間の直線距離を求めるモードに設定する2点モードを起動する2点モードボタン131、立体モデル表面の平面上に存在する経路長を求める3点モードを起動する3点モードボタン132、立体モデル表面の一平面上に存在しない経路長を求めるN点モードを起動するN点モードボタン133、処理を終了するためのキャンセルボタン134が設けられている。次にステップ602でこの選択用パネル130に対するモードの入力を受けて、入力されたモードに応じた処理へ移行する。

【0049】(3-4-1) 2点入力モード処理  
選択用パネル130から2点モードボタン131が操作されると、2点間の直線距離を求めるために、ステップ604で始点と終点の2点の入力が在るか否かを判断し、入力されていない場合はステップ605で入力受付

を得。このモードにおける点の入力は使用者がビューワーに表示されている立体モデル表面上の一点をクリックするか、キャンパスに表示されている輪郭線上の一点をクリックすることにより行われる。

【0050】2点の入力を受け付けるとメインルーチンへ移行し、再びステップ604へ戻る。ここでは2点の入力がされているので、ステップ606で当該2点の座標値から2点間の距離が算出され、ステップ607でメジャーリング処理操作パネル70の距離情報表示部83に、算出した値が表示される。

(3-4-2) 3点入力モード処理

選択用パネル130より3点モードボタン132が操作されると、ステップ608より立体モデル表面の一面上の経路長を求める3点入力モードへ移行する。ここでは、まず3点の入力を判断し、入力されていない場合は、まず3点の入力を受け付け、3点モードにおける点の入力は、使用者がキャンパスに表示されている断面の輪郭線上の始点と終点と通過点をクリックするか、ビューワーに表示されている立体モデル表面の始点と終点と通過点をクリックすることにより行う。

【0051】以下に、この3点の入力について具体的に説明する。まず、キャンパスに表示されている断面の輪郭線から入力する場合は、使用者はキャンパスに表示されている断面の輪郭線上から始点と終点となる2点をクリックする。例えば、図23(a)に示すような断面40がキャンパスに表示されているとすると、使用者は断面の輪郭線上の点41、点42をクリックすることで始点と終点を入力する。始点と終点が入力されると、この2点を始点・終点とする経路は経路44aと経路44bの2つとなる。そこで、使用者は最後に点43をクリックする。なお、通過点の代わりに経路の存在する側のエリアをクリックする等の方法で経路を選択するようにしてもよい。

【0052】次に、ビューワーに表示されている立体モデルの3点を入力する場合は、使用者はビューワーに表示されている立体モデルの表面上を始点・終点・通過点の順で、3点をクリックする。例えば、図24(a)に示すような立体モデル32に対しては、図24(b)に示すように始点として点51、終点として点52、通過点として点53を入力する。キャンパスからの入力とビューワーからの入力の区別は、最初の点の入力を使用者がキャンパス上から行ったか、ビューワー上から行ったかにより行う。

【0053】3点の入力の受け付けが終わると、メインルーチンに戻った後再び、ステップ609へ戻る。ここでは3点の入力がされているので次の処理へ移行する。ステップ611からステップ613までは3点を通る断面を求める処理であるが、キャンパスから3点を入力した場合は、断面はすでに求まっているのでこれらのステ

ップでの処理は求まっている値をそのまま使用する。

【0054】ビューワーの立体モデルから3点が入力された場合はステップ611で、当該3点を通る基準平面の方向と位置を計算する。図24(b)のように3点が指定された場合は、図24(c)のように、まず、始点である点51と終点である点52を結ぶ直線を基準物体のX軸とし、両点の中心点を原点、当該X軸と通過点である点53を通る平面をXY平面として基準平面の方向と位置を定める。

【0055】次に、ステップ612により求められた方向と位置に応じて基準平面をビューワー上に表示する。それから、ステップ613により基準平面による立体モデルの切断面を計算する。切断面の計算の方法は切断処理の場合と同様である。なお、切断面が求まると図24(d)に示すようにキャンパス上に表示される。以上の処理が終わるとキャンパスによる3点入力、ビューワーによる3点入力の間を問わずステップ614により経路長の計算がなされる。経路長の計算は、開始点から通過点を経て終了点に至るまでの線分長を算算することにより簡易になされる。図25のフローチャートを参照しながら経路長測定処理について説明する。本フローチャートにおいて「経路長Len」とは開始、終了点、通過点からなる経路の長さを格納するための変数である。本フローチャートに処理が移行すると、プロセッサ10はステップ651において経路長Lenに0を代入することによりこれを初期化する。

【0056】プロセッサ10は続いてステップ652において開始点・終了点・通過点を含む線分列を求め、それからステップ653に移行し、ステップ654の処理を開始点から終了点まで繰り返すよう制御する。ステップ653においてプロセッサ10ではその組み合わせ間の距離を算出し、経路長Lenに加算する。この処理を開始点から終了点までの全ての交点について繰り返すと、指定された3点を通る経路長が得られることになる。

【0057】経路長が計算されると、ステップ615に移行して、指定された経路を通る断面を形成する線よりも太くかつ異なる色で表示する(図23(c)、図24(d)参照)。最後に、メジャーリング処理操作パネル70の距離情報表示部83に、ステップ614で算出した値が表示される。

(3-4-3) N点入力モード処理

N点入力モードでは立体モデル表面の一面上になく経路長を求める処理を行う。一面上になく経路の指定手段として、物体表面上をマウスドラッグすることも考えられるが、使用者にとって二次元的画面上で立体モデル表面の経路を正確にドラッグすることは困難であるので、ここでは立体モデル上の複数の点により経路を指定する。使用者が指定するのは始点、終点、複数の通過点よりなるN点である。

【0058】立体モデル上のN点は通常は一面上には存在しない。そのため、当該N点を通る経路は無数に存在し特定することは困難である。そこで、ここでは、N点から3点ずつを抽出して、得られる3点ごとに前記3点入力モードで用いた方法により3点を通る経路長を算出して、この結果を用いてN点を通る経路長を近似的に求めることとしている。

【0059】図26を用いて具体的に説明する。例えば、図26(a)のように立体モデル32上に4つの点P1、P2、P3、P4(P1が始点、P4が終点、P2、P3が通過点とする)が指定されると、ここで、点P1、P2、P3の3点を用いて、当該3点を通る平面から経路を求めると図26(b)に示すような点P1、P2、P3を通る経路が得られる。ここで、この経路のP1、P2間の距離をLa12、P2、P3間の距離をLa23とする。

【0060】次に、点P2、P3、P4の3点を用いて、当該3点を通る平面から経路を求めると図26(c)に示すような点P2、P3、P4を通る経路が得られる。ここで、この経路のP2、P3間の距離をLb23、P3、P4間の距離をLb34とする。なお、La12、La23、Lb23、Lb34の経路長は3点入力モードと同様の方法により求めることができる。

【0061】このようにした場合、点P2、P3を通る経路長L(P1,P2,P3,"former")+L(Pn2,Pn1,Pn,"latter")

$$+ \frac{N^2 \cdot L(P1,P1,P2)}{1-1} + \frac{L(P1,P2,P3) \cdot "former" + L(Pn1,Pn2,Pn3) \cdot "latter"}{2}$$

【0065】と表すことができる。次に、実際にどのような動作によりN点を通る経路長を行うかを説明する。上記処理を行うN点入力モードへは、選択用パネル130よりN点モードボタン133が操作されることにより、図21のステップ608を介して移行する。最初にステップ618においてN点の入力がなされたか否かが判断される。ここで、N点の入力がされていない場合はステップ619へ移行しN点の入力を持つ。

【0066】点の入力は使用者がビューワーにおいて立体モデル表面をクリックすることで行う。使用者が立体モデル表面上に1点目をクリックすると、図27(a)に示すような次の点の指定を促すポップアップメニュー150aが表示される。続いて、使用者が2点目、3点目を指定すると、図27(a)に示すポップアップメニュー150aが表示される。

【0067】ところでN点入力モードにおいては4点以上ならば制限無く点を指定することができるので、使用者が最終的に全ての点を入力したことを指示する必要がある。そこで、4点目を入力した後は、点を入力することと図27(b)に示すような、N点入力の終了か、さらに点の入力を行うかを問うポップアップメニュー150

\* 路は、長さLa23の経路と、長さLb23の経路の2通りが存在することになる。そこで、ここでは求める経路が2つの経路の中間付近にあるものと考え、La23、Lb23の平均を点P2、P3を通る経路の長さとする。即ち、4点P1、P2、P3、P4を通る経路の長さはLa12+(Lb23+La23)/2)+Lb34であらわすことができる。

【0062】これをさらに一般化して、立体モデル表面上にP1、P2、...、PNのN点の指定による経路長をPath(P1,P2,...,PN)を求めるとする。連続して3点P1、P1+1、P1+2を始点、通過点、終点としてこれを通る平面から求められる経路長について、始点と通過点間の経路長をL(P1,P1+1,P1+2,"former")と表し、通過点と終点間の経路長をL(P1,P1+1,P1+2,"latter")と表すものとする。

【0063】経路全体の始点P1と次の点P2との距離、及び、経路全体の終点P1と次の点PN-1と終点PNとの距離は一般的に定まる。これ以外の各点間P1、P1+1(i=2,3,...,N-2)の経路長はL(P1,P1+1,P1+2,"former")とL(P1+1,P1+2,P1+3,"latter")との平均をとる。これにより、経路全体の距離をLb34とする。なお、La12、La23、Lb23、Lb34の経路長は3点入力モードと同様の方法により求めることができる。

【0064】

【0065】

【0065】と表すことができる。ここで、使用者は所望のN点の入力が終了した場合はフィニッシュボタン151をクリックし、また、入力が続く場合はコンティニューボタン152をクリックすればよい。使用者がフィニッシュボタン151をクリックするとN点の入力が終了し、ビューワー座標系の各点の座標値が入力されることになる。

【0068】N点の入力受け付けが終わると、メインルーチンから再びステップ618に戻り、今度はステップ620へ移行する。ステップ620ではプロセッサ10は経路の分割を行う。具体的には、入力されたN点から連続する3点の組を1点ずつずらしながら抽出していく。続いて、ステップ621により抽出した3点の組について、この処理は3点を通る基準平面を求めた後に当該基準平面を用いて切断面を算出し、これを各点間の経路長を求めると同様の計算を行えば足りる。

【0069】以上のステップ621、622の処理を全ての3点の組について行った後に、ステップ624で上記式(1)により全経路長を計算する。それから、ステップ625でN点入力の経路長を表示する。ここでは、表示さ

れる経路は各N点を直線で結んだ線分を表示するものとす。もともと、N点を滑らかに繋ぐ曲線を出してこれを表示する等価の表示が可能であることはいうまでもない。

【0070】最後に、ステップ626においてプロセッサ10は、ステップ624で計算された経路長をメジャーリング処理操作パネル700の距離情報表示部83に映示してN点入力モード処理を終了する。以上のようにN点入力処理では、立体モデル表面上の任意の経路長を算出することができ、なお、ここでは、経路長が2つ算出された2点間の距離を2つ経路長を算出することにより求める等により経路長を算出する等価の方法が採用できる。また、ここでは、N点の内、連続する3点を1点ずつずらしながら総分けることで3点を抽出した点が、3点の内2点を他の線を共有するように組分けすれば足りるので、例えば点Pa、Pb、Pc、Pdに対して、(Pa、Pb、Pd)と(Pa、Pb、Pc)のような組分けをすることも可能である。

【0071】(3-5) 曲面モード処理  
曲面モード処理では、使用者が指定する立体モデル表面の点や面につき微分値や曲率等の特徴量を求めた特徴量を数値化して表示する。また、特徴量を算出するに際して、立体モデルの凹凸のレベル、即ち立体モデルの凹凸の空間周波数を設定し、調整することも可能で行う。この曲面モード処理は図8のメジャーリング処理のフローチャートにおいてメジャーリング処理操作パネル700の曲面モード起動ボタン73がクリックされた場合にステップ35を介して移行する。図28に曲面モード処理のフローチャートを示す。以下、このフローチャートに従って曲面モード処理を空間周波数の調整処理と特徴量の算出処理に分けて説明する。

【0072】(3-5-1) 空間周波数の調整  
空間周波数の調整は、測定対象を測定する時に生じる高周波ノイズを取り除いたり、サンプリング間隔距離の不均一さを緩和したり、使用者が立体モデルから巨視的又は微視的に特徴量を得たい場合等を考慮して空間周波数の調整を行うものである。なお、ここでいう空間周波数とは、単位長さ当たりの物理的な凹凸の間隔をいうものとし、空間周波数の調整とはどの程度の凹凸を対象とし、特徴量を定めるかを指定することをいう。見方を変えて空間周波数の逆数は凹凸の1周期の距離を表すので、1つの凸部または凹部を形成するものとしてみなす範囲を調整しているともいえる。

【0073】具体的に説明すると、空間周波数の指定、即ち距離の指定により、例えば図29(a)に示す空間周波数の逆数で規定される距離dを直径とする円筒Cで表される範囲と立体モデルXとの交線内の立体モデル表面部分S<sub>交</sub>部分を、図29(b)に示すように平滑化し

た曲面S<sub>交</sub>と見なしして当該立体モデル表面S<sub>交</sub>の特徴量を算出するようにする。なお、実際の計算においては曲面と立体モデル表面との交線を求める必要はなく、交線上の点数があれば足りる。

【0074】図28のフローチャートにおいて、後述する曲面モード処理操作パネルが未表示の場合はステップ702へ移行し空間周波数の調整が行われる。通常は曲面モードで起動した直後は曲面モード処理操作パネルは未表示であるのでステップ702へ進む。ステップ702では空間周波数の基準値が計算される。これは立体モデルを構成する点同士の距離の平均に応じて、特徴量算出のための適当な空間周波数を定めるものである。空間周波数の基準値の算出は立体モデルの頂点群の分布密度を元に求める。図30に空間周波数の基準値を算出する処理を要するフローチャートを示す。空間周波数の基準値の算出は、まず、ステップ802で立体モデルの頂点の逆数の平均値 $\text{avr}(1/L_{\text{side}})$ を求める。これは、頂点を1周期とした空間周波数の平均値である。次にステップ803で、求めた平均値に $\text{avr}(1/L_{\text{side}})$ に補正値 $V_{\text{frag}}$ を計算することで空間周波数の基準値を算出する。なお、 $V_{\text{frag}}$ は経験又は経験的に得られる値であって、ここでは $V_{\text{frag}}=0.25$ を用いる。なお、空間周波数の基準値は頂点群の分布密度から求める場合に限られず、例えば、立体モデル表面の空間周波数の内、最も特徴量が多いものを選択する等の方法により定められることもできる。

【0075】空間周波数の基準値が求まるとステップ703で当該値が所定記憶エリアに記憶され、曲面モード処理操作パネル140が表示される。ステップ704で表示されるこの曲面モード処理操作パネル140を図31に示す。曲面モード処理操作パネル140は、スライダ41、空間周波数表示部142、特徴量選択用ボタン144、145、146、微分方向選択ボタン147、計算値表示部148、ポイントモード起動ボタン149、エリアモード起動ボタン150、マッピングモード起動ボタン151、終了ボタン152により構成される。【0076】スライダ141は、使用者により空間周波数を調整するための、スライด์片を左右にマウスを用いて移動させることで前記算出した空間周波数の基準値に対して、空間周波数の値を10-3〜103まで倍率で変化させることができる。空間周波数表示部142は、スライダの調整値に応じた得られる空間周波数の値を表示する。なお、最初には前記ステップ702算出した空間周波数の基準値が表示されている。

【0077】特徴量選択用ボタン144、145、146は、使用者が算出しようとする特徴量を選択するためのボタンであり、ここでは特徴量として、特徴量選択ボタン144により平均曲率を選択でき、特徴量選択ボタン145によりガウス曲率を選択でき、特徴量選択ボタン146により微分値を選択することができる。

19

なお、特徴量として微分値が選択された場合は、微分方向選択ボタン147により微分方向を選択するようになっている。

【0078】ポイントモード起動ボタン149は、立体モデル上の一点の特徴量を求めるポイントモードを起動するためのボタンである。ここで求められた特徴量は計算値表示部148に表示される。エリアモード起動ボタン150は、立体モデルを方向から見るときの全ての点について特徴量を算出し、結果を画像として表示するエリアモードを起動するためのボタンである。マッピングモード起動ボタン151は、立体モデル表面の全ての点について特徴量を算出し、結果を画像として立体モデルにテクスチャマッピング処理により張り付けるマッピングモードを起動するためのボタンである。終了ボタン152は曲面モードを終了させるためのボタンである。

【0079】(3-5-2) 特徴量算出処理  
曲面モード処理操作パネル140が表示されるとメインメニューは移行した後、再びステップ702に戻り、次の特徴量算出処理へ移行する。特徴量算出処理では曲面モード処理操作パネル140の操作内容に応じて、ポイントモード、エリアモード、マッピングモードによる処理を行い、また、特徴量として、微分値、平均曲率、ガウス曲率のいずれかを求める。平均曲率は曲面がどちら側に膨らんでいるかを表すものである。また、ガウス曲率は曲面が平面を曲げることによって作れるかどろろを示すものであって、平面の曲げの他に面の伸び縮みが必要な曲面の場合は値が0にならない。特徴量には、測定する箇所の法線方向に依存するものと、依存しないものが存在する中で特徴量に応じて法線方向で定まる座標系と、基準平面により規定される座標系を使い分ける。

【0080】(3-5-2-a) 微分値の計算  
微分値の計算は、測定点の法線方向とは無関係に求めることができるので基準平面により定まる座標系を用いる。この座標系をXYLZ座標とする。この座標系において、立体モデル表面の測定点近傍の点の座標は $(x, y, f(x, y, f(x, y, f(x, y, \dots, P_n))$ の値は、点 $(x, y, f(x, y, f(x, y, \dots, P_n))$ の存在するポリゴンメッシュを構成する頂点 $P_1, P_2, \dots, P_n$ の各Z座標を用いて、各頂点から測定点間での距離の逆数を重みとして補完して求める。具体的には、頂点 $P_i$ のZ座標を $Z_L(P_i)$ 、頂点 $P_i$ から測定点までの距離を $L(P_i)$ とすると次式で表すことができる。

【0081】  
【数2】

$$f(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_L(P_i) / L(P_i))}{\sum_{i=1}^n (1 / L(P_i))}$$

【0082】なお、 $f(x, y)$ の値はB-splineや法

線ブレニングなどの手法によるパラメトリックな曲線や曲面で近似して求めてもよい。今、測定点を $(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$ とし、空間周波数から得られる区間長をdとすると、XYL軸方向、YL軸方向の微分値はそれぞれ次式で表せる。

【0083】  
【数3】

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x_0+d/2, y_0) - f(x_0-d/2, y_0)}{d}$$

10

【0084】  
【数4】

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{f(x_0, y_0+d/2) - f(x_0, y_0-d/2)}{d}$$

【0085】空間周波数により特定される区間dとf

$(x_0, y_0)$ 、 $f(x_0-d/2, y_0)$ 、 $f(x_0+d/2, y_0)$ の関係を図32に示す。図32(a)はdの値を微分値d1(高い空間周波数)に設定した場合を示し、図32(b)はdの値を低い値d2(低い空間周波数)に設定した場合を示す。なお、微分の計算方法はXYL軸方向、YL軸方向と同じであるので、ここでXYL軸方向についてのみ説明する。上記計算式は、測定点 $(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$ を中心として距離dで規定される範囲で定まる点 $(x_0-d/2, y_0, f(x_0-d/2, y_0))$ 、 $(x_0+d/2, y_0, f(x_0+d/2, y_0))$ のみで算出されるので、実質的に図で示される両点に挟まれる曲線をC1もしくはC2のように平滑化したものと見なして特徴量を算出していくことになる。即ち、区間dを小さくすればより微視的な凹凸の間隔で特徴量を算出でき、区間dを大きくすればより巨視的な凹凸の間隔で特徴量を算出できることである。なお、ここでは曲線(曲面)を平滑化したものと見なして計算を行うが、区間dにおける曲線(曲面)を実際に平滑化処理したあとに通常の微分処理をするようにしてもほぼ同様の結果を得ることができ、これは次の曲率の計算においても同様である。

(3-5-2-b) 曲率の計算  
曲率は測定点の法線方向に依存するので、測定点の法線により定まるローカルなXYLZ座標系を用いて計算を行う。具体的には図33に示すように立体モデルの測定点を原点とし、当該測定点における法線と逆方向にZ軸をもつ座標系を用いる。なお、XYL軸、YL軸はその都度適当に設定する。また、この座標系においても立体モデル表面の測定点近傍の点の座標は $(x, y, f(x, y, f(x, y, \dots, P_n))$ と表せ、 $f(x, y)$ も上記方法で得ることができ、

【0086】ここで算出する平均曲率 $\kappa_m$ 、ガウス曲率 $\kappa_g$ は次式で表すことができる。

【0087】

【数5】



$$K_m = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad * [0088] \quad (4) \quad \text{【数6】}$$

$$K_g = \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) \left( \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) - \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2 \quad * \quad (5) \quad \text{【数7】}$$

【0089】いま、測定点のXL座標、YL座標を、XL ※いて、次式により近似できる。

$$x = x_0, YL = y_0 \text{とすると、上式における} \partial^2 f / \partial \quad [0090]$$

$$x', \partial^2 f / \partial y', \partial^2 f / \partial x \partial y \text{の値は、空間} \quad (6) \quad \text{【数7】}$$

周波数から得られる区間長d (空間周波数の逆数) を用添10

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{f(x_0+d, y_0) + f(x_0-d, y_0) - 2f(x_0, y_0)}{d^2} \quad (6) \quad \text{【数7】}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \frac{f(x_0, y_0+d) + f(x_0, y_0-d) - 2f(x_0, y_0)}{d^2} \quad (7) \quad \text{【数8】}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = \frac{f(x_0+d/2, y_0+d/2) + f(x_0-d/2, y_0-d/2) - [f(x_0+d/2, y_0-d/2) + f(x_0-d/2, y_0+d/2)]}{d^2} \quad (8) \quad \text{【数9】}$$

【0093】以上の式を用いて、平均曲率、ガウス曲率を立体モデルの頂点データから求めることができる。なお、これらの式においても、例えばx軸方向には、図32に示すのと同じ区間dと $\frac{\partial}{\partial x}(x_0, y_0)$ 、 $\frac{\partial}{\partial y}(x_0-d/2, y_0)$ 、 $\frac{\partial}{\partial x}(x_0+d/2, y_0)$ の関係を持ち、面点間に含まれる立体モデル表面を曲線C1 (C2) に平滑化したものと見なして特徴量を算出しているものということができる。但し、曲率の算出においてはローカルな座標を用いるので $x_0=0, y_0=0$ である。

【0094】(3-5-3) ポイントモード処理  
図31に示す曲面モード処理用パネル140のポイントモード起動ボタン149が操作されると図28の曲面モードのフローチャートにおいて、ステップ705を介してポイントモード処理へ移行する。ポイントモードでは、まず、ステップ706で使用者によるビュワーでの立体モデル表面の測定点の指定待つ。測定点が指定されるとステップ707で現在の空間周波数、即ち、曲面モード処理用パネル140の空間周波数表示部142に表示されている空間周波数の値を取り込む。

【0095】次に、ステップ710で曲面の特徴量が算出される。曲面の特徴量を計算する処理を図34のフローチャートに示す。特徴量の計算は曲面モード処理用パネル140の特徴量選択ボタンによって選択される微分、平均曲率、ガウス曲率の別に応じて処理を定める。まず、プロセッサ10は選択されている特徴量が曲率か否かを判断する。ここで、曲率が選択されていない場合は微分が選択されているので、ステップ909へ移行し、

図35(a)に示すようにキャンパスの座標の位置に対応する基準平面Hの座標点p、p、pからZ軸方向へ立体モデルXに投影して得られる立体モデル上の各点 (図中の二点鎖線よ

り左側の面上の点) に対し特徴量を算出し、当該特徴量に応じてキャンパスの対応する座標の座度を定めることによって、特徴量を画像として図35 (b) のようにキャンパスに表示するものである。このモードに移行する際には使用者は基準平面を立体モデルの所望の方向が投影できるように姿勢を調整し移動させておく必要がある。

【0098】図31に示す曲面モード処理用パネル140のエリアモード起動ボタン150が操作されると図28の曲面モードのフローチャートにおいて、ステップ712を介してエリアモード処理へ移行する。エリアモードでは、まず、ステップ713で現在の空間周波数、即ち、曲面モード処理用パネル140の空間周波数表示部142に表示されている空間周波数の値を取り込む。それから、ステップ714で基準平面の姿勢を取り込む。基準平面の姿勢を取り込むと、ステップ715でこの基準平面のキャンパスの画像位置に対応する座標点からZ軸方向へ立体モデルへ投影することで立体モデル上の点の座標を算出する。なお、ここではキャンパスには480×480の画像を配列するように構成してあるものと

【0099】投影点が抽出されると、ステップ716で抽出された点の1つずつについて曲面の特徴量計算処理が行われる。この処理は、ポイントモードにおいて説明した図34のフローチャートと同じ処理である。全ての点に対して特徴量の算出が完了すると、ステップ717で各点の特徴量に応じて対応する座標の座度を算出し、2次元直交平面上即ちキャンパス平面にマッピングする。具体的にはキャンパス平面上の各座標の座度データとして、対応する点における特徴量の絶対値が大きいほど大きな輝度を設定し、さらに、特徴量の値が正の場合は青色に負の場合は赤色にというように正負に応じた色を与えるRGB値を設定する。マッピングの計算が終わるとステップ720でキャンパスにマッピングしたデータを表してエリアモードを終了する。

【0100】なお、ここでは、キャンパスの画像位置に

【0101】(3-5-5) マッピングモード処理  
マッピングモード処理では立体モデル表面上の各点における特徴量を算出し、当該特徴量に応じた画像を立体モデル表面上にテクスチャマッピング処理を行って、当該画像を立体モデル表面に張り付けるものである。テクスチャマッピング処理は、図36に示すように、テクスチャ

空間に設定されるテクスチャ形成面Aのような立体モデルXに張り付けられるテクスチャパターンを形成し、テクスチャ空間座標で表されるテクスチャ形成面とテクスチャを張り付ける立体モデル空間の座標 (ビュワー座標) で表される立体モデルX表面との対応を教すマッピングデータを設定し、これを元に、テクスチャ空間から立体モデル空間へ座標変換を行って2のようにテクスチャを立体モデル表面に形成するものである。

【0102】ここでは、テクスチャ空間座標として座標系を、テクスチャ形成面として座面を用いる。テクスチャ形成面として座面を用いるのは、ここでは3次元表面上の全体にテクスチャマッピングをするために2次元直交座標系における平面は適切でないからである。もつとも、適切なマッピングを行うならば2次元直交座標系における平面もテクスチャ形成面とすることができ、その他、円筒上のテクスチャ形成面等種々のテクスチャ形成面を用いることができる。

【0103】座標空間の座面と立体モデルとのマッピングデータは次のようにして与えられる。今、図37に示すようにビュワー座標系の立体モデルXに対して、テクスチャ形成面である座面Sが取り囲んでいるものとすると、この座面はテクスチャ空間において中心を原点、半径をrとして、また、ビュワー座標系の原点と座標系の原点は一致するものとし、当該座標系は立体モデル内部にあるものとする。もし、座標系が立体モデル外にある場合は、立体モデルを平行移動させて、座標系が立体モデル内に位置するようにする。

【0104】マッピングを行うために、まず、座標系を一致させる必要がある。そこで、まず、ビュワー座標 (x, y, z) を、座標系 (r, θ, φ) に変換する。この変換は次式で与えられる。

【0105】

【数10】

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\theta = \begin{cases} \cos^{-1}(z/r) & (y \geq 0) \\ 2\pi - \cos^{-1}(z/r) & (y < 0) \end{cases}$$

$$\phi = \begin{cases} \cos^{-1}(y/r \sin \theta) & (z \geq 0) \\ 2\pi - \cos^{-1}(y/r \sin \theta) & (z < 0) \end{cases}$$

【0106】この変換により立体モデルデータの頂点の座標を座標系に変換する。これからマッピングデータは次のように与えられる。即ち、図37に示すように原点Oから立体モデルX上の点Paを通る直線が座面Sと交わる点Pbを、当該立体モデル上の点Paと対応する点としてマッピングデータを与える。図37に示すように、

PaとPはrの値のみ異なり、 $\theta$ 、 $\phi$ の値は一致する。つまり、立体モデルデータの頂点を極座標に変換したとき、角度成分 $\theta$ 、 $\phi$ がそのまま球面上の対応点のマップデータになる。なお、rは一定であるので結局は定める必要はなくなる。

【0107】マッピングモード処理の具体的な動作を以下に説明する。図31に示す曲面モード処理用パネル140のマッピングモード起動ボタン151が操作されると図28の曲面モードフロアチャートにおいて、ステップ721を介してマッピングモード処理へ移行する。マッピングモードでも、まず、ステップ722で現在の空間周波数を取り込む。それから、立体モデルの頂点の1つずつについて曲面の特微量計算処理が行われる。この処理も、ポイント処理モードにおいて説明した図34のフロアチャートと同じ処理である。全ての処理について特微量の算出が完了すると、ステップ728でデクスチャマッピング処理が行われる。

【0108】図38にデクスチャマッピング処理を扱うフロアチャートを示す。デクスチャマッピング処理では、まず、前述したように立体モデルの頂点のビューワー座標（必要に応じて平行移動しておく）を極座標に変換する。そして、極座標に変換後の各頂点の $\theta$ 、 $\phi$ の2成分で表せる2次元座標位置に当該頂点の特微量に応じた当該頂点位置の類似値及びRGBデータを設定する。なお、類似値及びRGB値の設定の仕方は、エリアモード処理の場合と同様である。また、ステップ1004でビューワー座標と極座標の角度成分間の対応をマッピングデータとして保存しておく。ステップ1002から1004の処理を全ての頂点について終えると、ステップ1006で頂点以外の面上の画像ボタンを頂点に設定された画像ボタンを用いて補充して求める。具体的に、ポリゴンメッシュを構成する頂点に置かれた面上の点について、各頂点の類似度を距離に応じて重み付けをして、平均をとることにより算出する。これにより完全なデクスチャボタンがデクスチャ形成面にデータとして形成されることになる。

【0109】以上の処理が終わると、マッピングデータに基づいてデータとして得られているデクスチャボタンを立体モデル表面に張り付けビューワーに表示して処理を終了する。なお、ここでは立体モデルの各頂点とデクスチャ形成面とをマッピングし、各頂点の特微量から得られる類似度から各頂点に対応する点に置かれる面のデクスチャボタンを補充することと求めた。だが、これは立体モデル表面とをマッピングして対応する立体モデル上の点を求め、求めた点における特微量を算出して、各点に対応するデクスチャ形成面上の点に当該特微量に応じた類似度を形成することとでデクスチャボタンを形成するようによい。

【0110】以上のような処理により、曲面モードでは

50

立体モデル表面の特微量を空間周波数を調整しながら、数値として算出し、さらに画像として視覚的に表示することができ。なお、ここでは図29に示されるように空間周波数により得られるdの値に規定される円周上の頂点と立体モデル表面との交線に置かれる立体モデル表面を平滑化した曲面と見なし、特微量を算出したが、この曲面は円周ではなくdを半径とする球とすることもできる。この場合の図32のXYZ1平面に対応する図を図39に示す。

【0111】図39では、測定点を中心として直径をdとした球（円）と立体モデルとの交点からf(xa, y0)、f(xb, y0)を求めている。そして、これを用いて測定点の特微量を求めるようにすることができ。このようにすると、頂点間の距離のばらつきに偏りなく、測定点から立体モデル表面の同等な距離の頂点を特微量を算出するためのデータとして用いることができる。

【0112】また、エリアモード処理およびマッピング処理においては類似度を算出することで特微量を規範的に表示したが、これは色を変えたりハッチングやトーンのパターンを変えたりすることで視覚的に表示するようにすることができ。さらに、形状より得られる特微量として、ここでは微分値と曲率を用いたが、これは他の特徴量を用いてもよく、例えば、次式で表されるラプラスアン $\Delta$ などを算出するようにしてもよい。

【0113】

【数11】

$$\Delta = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$$

【0114】ラプラスアンは3次元におけるエッジの強さを表す。この他にも、平滑化した曲面を表す多項式の特微の係数や、曲率等の平均などを特微量としてもよい。

(3-6) 修復モード処理

修復モード処理では、立体モデルの欠損部分を自動的に修復する。修復モード処理の基本的な考え方を図40を用いて説明する。例えば、図40(a)に示すように、立体モデルデータXをある軸方向を法線とする複数の平面で切断する。すると、前述した切断モード時と同様の計算により複数の断面データ（輪郭）を得ることができ。こうした得た断面データを前記軸方向に3次元空間に並べて、断面間にポリゴンを発生させると立体モデルデータX\*を得ることができ。元の立体モデルデータXと得られた立体モデルデータX\*は切断平面の距離が十分に狭ければほぼ同じものと見なすことができる。

【0115】同じように図40(b)に示すような欠損のある立体モデルデータXをある軸方向を法線とする複数の平面で切断すると、やはり複数の断面データを得ることができ。この際、欠損部分は、切断モードにお

図15(b)の線分のつながり合わせ処理のフロアチャートにおいて線分がつながり合わせられないことになり閉じてない断面と判断することが可能である。そして、このような閉じてない断面の閉いた部分は輪郭を補充すること、閉じた断面に修復することができ。その後、やはり断面データを3次元空間に並べて断面間にポリゴンを発生させると立体モデルX\*が得られる。切断平面の距離を十分に小さくすれば、この立体モデルX\*はほぼ元の立体モデルXと同じでしかなく欠損部分が修復されていることになる。

【0116】なお、この手法で重要なのは切断面の法線方向の取り方であり、欠損部分を適切にスライズできるような方向に設定することが重要である。そこで、ここでは、基準平面のZ軸方向を切断面の法線方向とし、使用者が適切な方向を設定できるようにしてある。図9のメジャーリング処理のフロアチャートにおいて修復モード起動ボタン74が操作されるとステップ43の切断モード処理へ移行する。図41に修復モード処理の動作を示すフロアチャートを示す。修復モード処理では、まず、ステップで使用者が設定した基準平面の姿勢の取り込みを行う。次に立体モデルのZ軸方向の高さを求め、この高さから切断平面間の間隔を求める。ここでは、得られた高さの1/1000としている。

【0117】次に、S1105で1の刻み幅を持つ立体モデルを平面で切断していき断面データを求めていく。断面データの求め方は断面モード処理で説明したのと同様である。そして、ステップ1107で求められた断面データが欠損があるかどうか、即ち閉じてない断面であるかどうかを判断し、欠損がある場合はステップ1109で断面データを修復する。この修復処理については後に詳述する。

【0118】立体モデルのZ軸方向の高さ分の切断面の全てについて以上の処理が終わると、ステップ113において修復した断面データを含めて断面データをつなぎ合わせて立体モデルデータを復元して処理を終了する。

(3-6-1) 断面データの修復処理

次に、ステップ1109における断面データの修復処理について説明する。ここでは断面データの欠損のある部分近傍の形状のみから断面データの修復を行う。つまり、例えば図42(a)(b)に示す断面データにおいて

【数12】

【0122】

【数12】

て欠損部分は立体モデルにおいて同じ欠損部分の一部であるとする。もし、欠損部分から離れた箇所を考慮にいれて欠損部分の補充を行うことにすると、(a)(b)は欠損部分から離れた部分において大きく形状が異なっている。一方、欠損部分近傍のみを考慮すると両者はかなり近い修復結果を得ることができ。

【0119】図43に断面データ修復処理を扱うフロアチャートを示す。また、欠損のある断面データの例として図44(a)に示すような断面データは、2本の線分(Pとする。図44(a)の断面データは、2本の線分(P0,0, P0,1, ..., P0,N)と(P1,0, P1,1, ..., P1,N)より構成されており、点P0,0, P1,0間および点P0,N, P1,N間が欠損部分である。まず、ステップ1202で端点が最も近い点の組、即ち、欠損部分を構成する端点の組を求める。図44(a)の例では(P0,0, P1,0)の組と、(P0,N, P1,N)の組が求められる。ここで、P0,0, P1,0をP1, P2, P0,N, P1,NをP5, P6と表しておく。

【0120】次に、ステップ1203で線分の長さを算出し、ステップ1204でこの長さを基準に修復のための基準長さを求める。ここでは、端点から線分の長さの1/5の長さを修復のための基準長さとする。そして、欠損部分を構成する端点からこの基準長さだけ離れた距離にある点を代表点とし、この代表点を適当な補充処理により求める。図44(a)では、代表点として例えば、P0, P3, P4, P6が求められる。

【0121】それから、ステップ1205で、ステップ1202で求めた端点の組と、ステップ1204で求めた各端点から得られる代表点を滑らかに通過する曲線を求める。ここでは曲線を求める方法として一般ブレンディング法を用いる。具体的には、例えば、図44(a)の端点の組P1, P2と、この端点から得られる代表点P0, P3を通る滑らかな曲線は次のようにして求めることができる。即ち、点P0, P1, P2, P3が位置ベクトルとして与えられたとして、4点を通る曲線上の座標ベクトルC(t) (0 ≤ t ≤ 1) は一般ブレンディング法により次式で与えられる。

【0122】

【数12】

【0122】



$$C(i) = [i^3 \ i^2 \ i^1 \ 0][A][G]$$

ただし

$$A = \begin{pmatrix} \frac{-(1-\alpha)^2}{\alpha} & \frac{(1-\alpha)+\alpha\beta}{\alpha} & \frac{-(1-\alpha)^2-\alpha\beta}{\alpha} & \frac{\beta^2}{1-\beta} \\ \frac{2(1-\alpha)^2-2(1-\alpha)-\alpha\beta}{\alpha} & \frac{2(1-\alpha)-\beta(1-2\alpha)}{\alpha} & \frac{-\beta^2}{1-\beta} & 0 \\ \frac{-(1-\alpha)^2}{\alpha} & \frac{-(1-2\alpha)}{\alpha} & \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$[G]^T = [P_0 \ P_1 \ P_2 \ P_3]$$

$$\alpha = \frac{|[P_1] \cdot [P_0]|}{|[P_2] \cdot [P_1]| + |[P_1] \cdot [P_0]|}$$

$$\beta = \frac{|[P_2] \cdot [P_1]|}{|[P_3] \cdot [P_2]| + |[P_2] \cdot [P_1]|}$$

【0123】これにより、P1、P2間を滑らかに繋ぐ曲線では、断面生成手段が3次元形状データが表す3次元形状が図44(b)のように得られることになる。その後、ステップ1208で、全ての欠損部分の処理が完了したか否かが判断され、全ての欠損部分の処理が完了していればステップ1207でステップ1205で求めた曲線上に図44(b)に示すように適当な数点を復元する。それから、ステップ1208で復元した点群を含めて断面の輪郭を再構成することで断面データを修正する。これにより、図44(a)の断面データは図44(c)のように修復されることになる。このように、修復モード処理では、立体モデルデータに欠損部分があっても極めて容易に欠損部分を修復することができ、なお、本実施形態では、立体モデルデータを基準平面によりマニュアルで指定するようにしたが、これは立体モデルのシンニング等の処理により自動的に求めるようにしてもよい。また、ここでは、各切断面は同じ法線方向を持つようにしたが、各切断面の法線方向は一致させる必要は必ずしもない。

【0124】以上のように本実施の形態に係る3次元形状データ処理装置では、切断モード処理、距離モード、曲面モード、修復モード等により3次元形状データを様々な加工し解析することが可能となる。なお、本実施形態では測定を光学的に読み取ったが、モデラー等で作成された3次元データを対象にすることもできる。また、本実施形態では立体モデルデータをポリゴンメッシュから構成した他の形式で立体モデルデータを表現してもよい。具体例を挙げれば、ボクセルデータ、複数の輪郭データ、NURBS等のパラメトリック表現による面データ、CADデータ等がある。

【0125】【発明の効果】以上の説明より本発明は次のような効果を得る。即ち、本発明に係る3次元形状データ処理装置

【0126】このような動作により、一旦、3次元形状データを自由度の少ない2次元の断面データとしてから欠損部分の修復を行うこととなる。即ち、2次元断面において欠損部分を抽出し、欠損部分を修復することが可能となる。そして、修復された断面を用いて再び3次元形状データを再構築することで、結果として極めて容易かつ確実に3次元形状データの欠損部分の修復が行えることになる。

【0127】また、前記断面生成手段を方向取得部とスライス部で構成すると、方向取得部が3次元形状データに対する方向を取得し、スライス部が取得した方向を法線ベクトル方向とする互いに平行な複数の平面により、3次元形状データが表す3次元形状を切断して複数の断面形状データを得る。このような動作により、方向取得部で欠損部分に対して適切な切断方向を取得すれば、欠損を構成する欠損部分を多くの断面が含まないようにすることができ、より修復作業をより簡単に進行することができる。

【0128】それから、前記断面修復手段が端部算出部、輪郭補完部により構成すると、端部算出部が輪郭の欠損部分に隣接する所定長さの輪郭の形状データを算出し、輪郭補完部が端部算出部で算出された輪郭の形状データを用いて欠損部分を補完する。このような動作により、欠損部分の近傍の形状のみから欠損の修復をすることができ、欠損部分をより滑らかに近づけることができる。また、計算量を減らすことも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態に係る3次元形状データ処理装置の内部構成を示す機能ブロック図である。

【図2】(a)は測定対象の一例を示す図であり、(b)は(a)の測定対象の立体モデル化したものの一例を示す図であり、(c)は(b)の部分拡大図である。

【図3】立体モデルのデータ構造を示す図である。

【図4】実施の形態に係る3次元形状データ処理装置におけるディスプレイの表示画面例を示す図である。

【図5】(a)はキャンパス座標系を示す説明図であり、(b)はビューワー座標系を示す説明図である。

【図6】(a)は基準平面を表す図であり、(b)は基準平面のデータ構造を示す図である。

【図7】(a)は基準平面の姿勢変化を示す図であり、(b)は基準平面の移動を示す図である。

【図8】実施の形態に係る3次元形状データ処理装置のメインのプロローチャートである。

【図9】メジャーリング処理を示すプロローチャートである。

【図10】メジャーリング処理操作パネルを示す図である。

【図11】基準物体表示処理を示すプロローチャートである。

【図12】基準物体移動・回転処理を示すプロローチャートである。

【図13】回転・移動量入力パネルを示す図である。

【図14】切断モード処理を示すプロローチャートである。

【図15】(a)は断面データ計算処理を示すプロローチャートであり、(b)は線分のつなぎ合わせ処理を示すプロローチャートである。

【図16】交点同士の連結処理を示すプロローチャートである。

【図17】線分列の連結処理を示すプロローチャートである。

【図18】(a)は基準平面がポリゴンメッシュを切断する状態の例を示す図であり、(b)は基準平面とポリゴンメッシュとの交点の例を示す図である。

【図19】(a)は一つのポリゴンメッシュで形成される交点の例を示す図であり、(b)は(a)で示す交点同士を結んだ状態を示す図であり、(c)は(b)で示す線分を連結した状態を示す図である。

【図20】(a)は切断面の輪郭線の計算方法を説明するための図であり、(b)は切断面の面積の計算方法を説明するための図である。

【図21】距離モード処理を示すプロローチャートである。

【図22】選択用パネルを示す図である。

【図23】(a)はキャンパスに断面が表示されている状態を示す図であり、(b)は(a)の断面の輪郭から

始点と終点を選択した状態を示す図であり、(c)は(b)の始点と終点に対する通過点を通過した状態を示す図である。

【図24】(a)はビューワーに立体モデルが表示されている状態を示す図であり、(b)は(a)に指定されている立体モデルから始点、終点、通過点を指定した状態を示す図であり、(c)は指定した3点と通る基準平面が表示された状態を示す図であり、(d)は(c)の基準平面で規定されるキャンパスの画像を示す図である。

【図25】経路長測定処理を示すプロローチャートである。

【図26】(a)はビューワー上の立体モデルから4点を指定した状態を示す図であり、(b)は(a)で指定した4点の内の3点から得られる経路を示す図であり、(c)は(a)で指定した4点の内の(b)とは異なる3点から得られる経路を示す図である。

【図27】(a)はN点モード時ににおける一つのポップアップメニューを示す図であり、(b)はN点モード時ににおける他のポップアップメニューの一つを示す図である。

【図28】曲面モード処理を示すプロローチャートである。

【図29】(a)は空間周波数で規定される曲面に含まれる曲面を示す図であり、(b)は(a)で示す曲面を平滑化した状態を示す図である。

【図30】空間周波数の基準値計算処理を示すプロローチャートである。

【図31】曲面モード処理用パネルを示す図である。

【図32】(a)は高い空間周波数に設定した場合の特微量の計算に用いる変数を示す図であり、(b)は低い空間周波数に設定した場合の特微量の傾斜に用いる変数をめす図である。

【図33】曲率の法線により規定される座標系を示す図である。

【図34】曲面の特微量の計算処理を示すプロローチャートである。

【図35】(a)は基準平面の画像から立体モデルへの投影を示す図であり、(b)は立体モデルの基準平面から投影された領域をキャンパス上に示した図である。

【図36】テクスチャマッピング処理を説明するための図である。

【図37】直交座標系上の立体モデル表面と座標系の球面とのマッピングを説明するための図である。

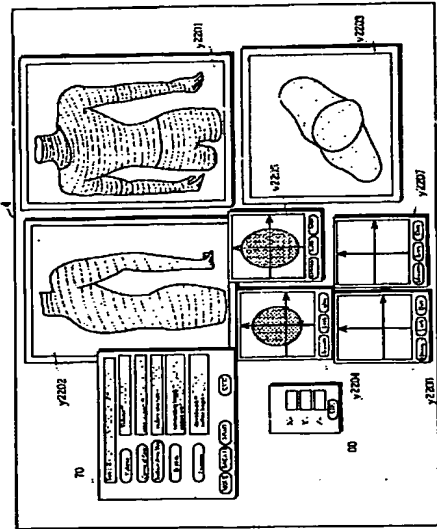
【図38】テクスチャマッピング処理を示すプロローチャートである。

【図39】空間周波数から得られる領域の座標を球面内とした場合の特微量を算出するための変数を示す図である。

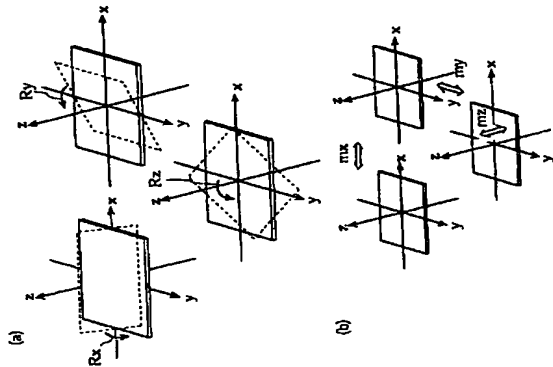
【図40】(a)は欠損の無い立体モデルを断面データ



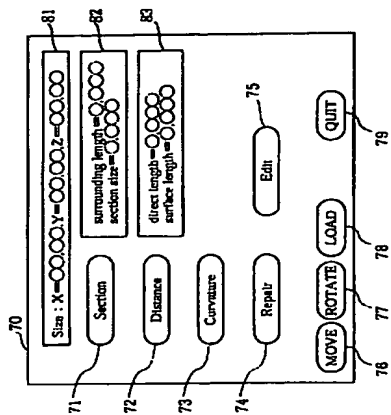
【図4】



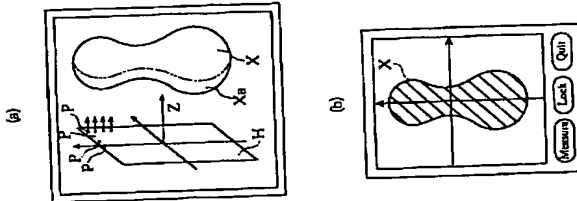
【図7】



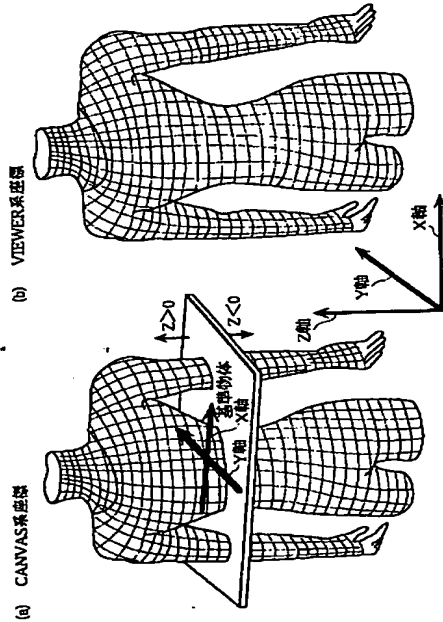
【図10】



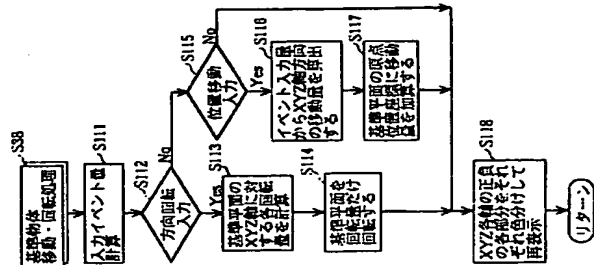
【図35】



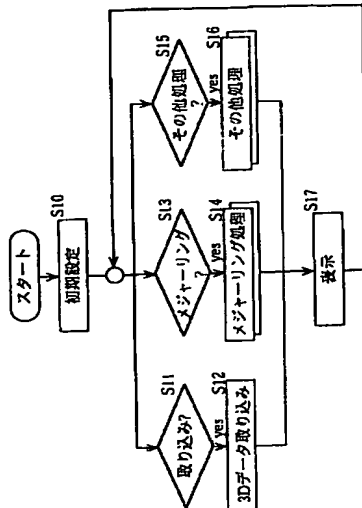
【図5】



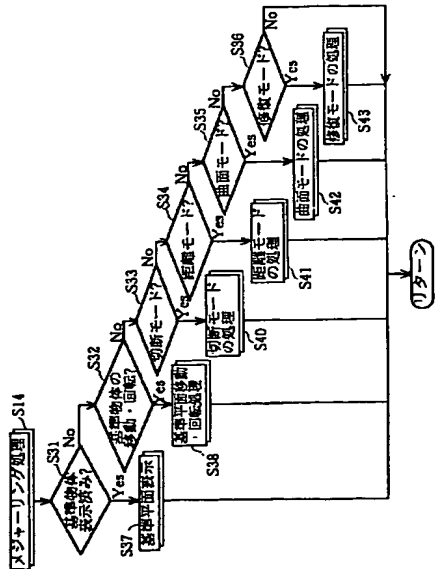
【図12】



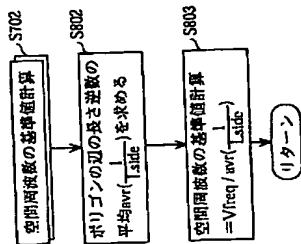
【図8】



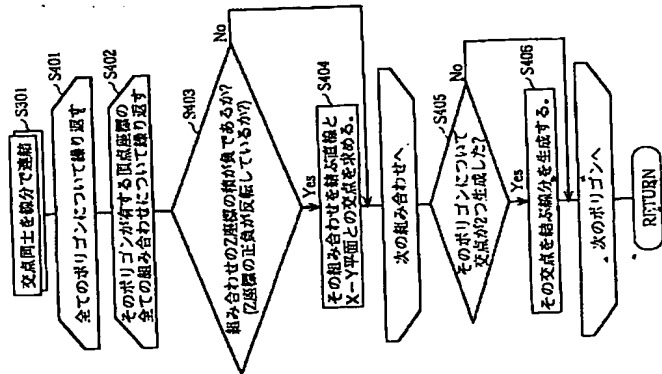
【6図】



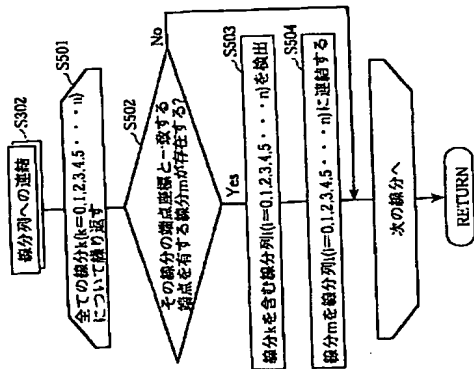
【图30】



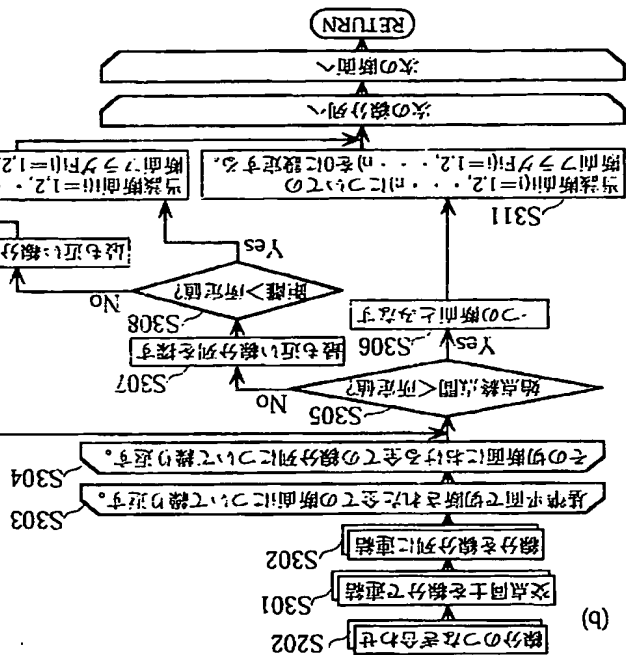
【例 16】



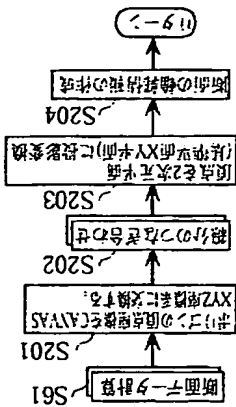
【图17】



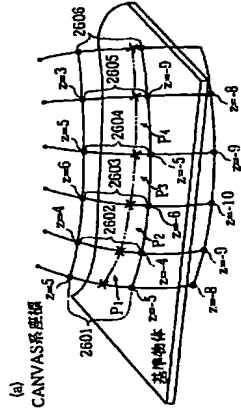
【☒15】



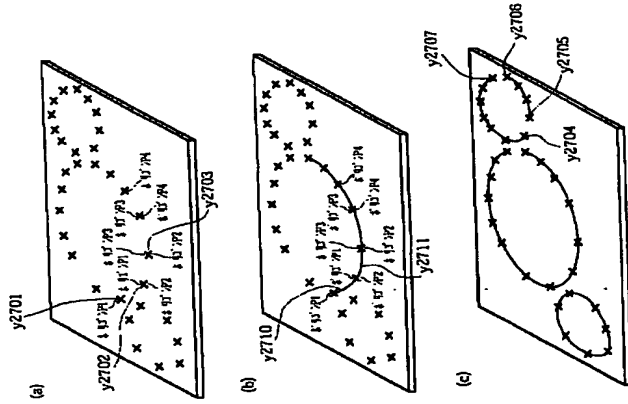
(a)



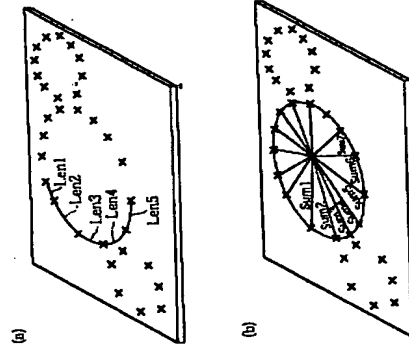
【图18】



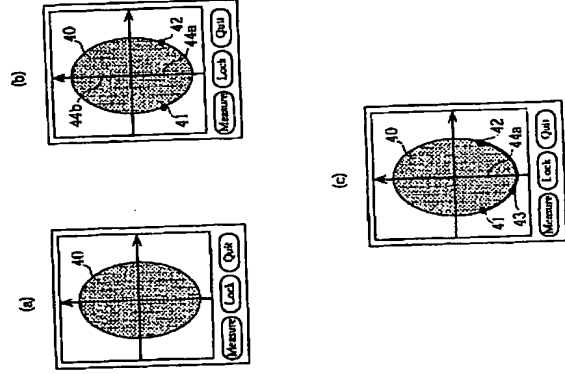
【図19】



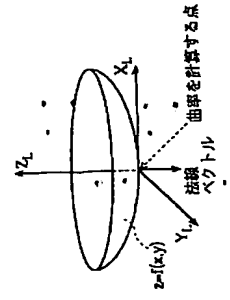
【图20】



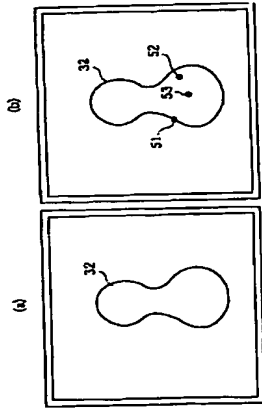
【例23】



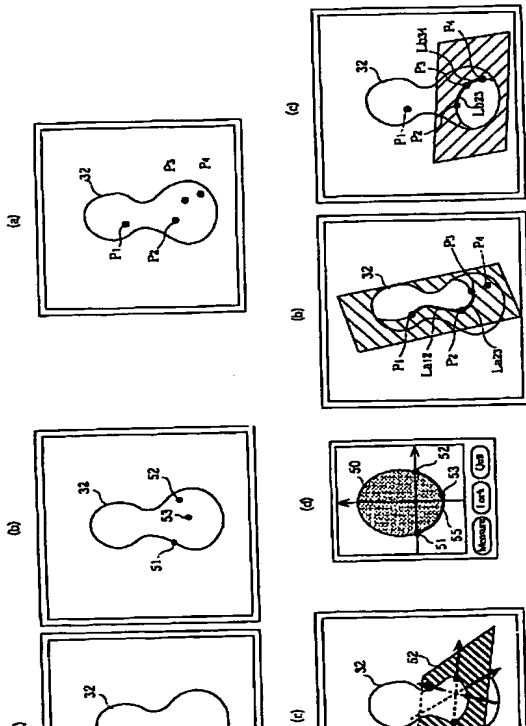
【☒33】



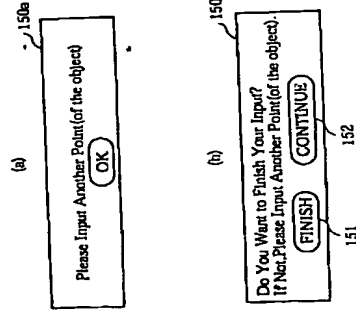
【図24】



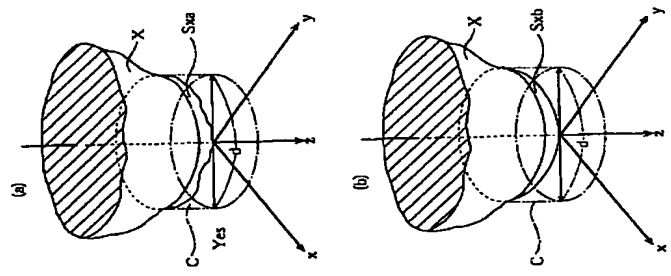
【図25】



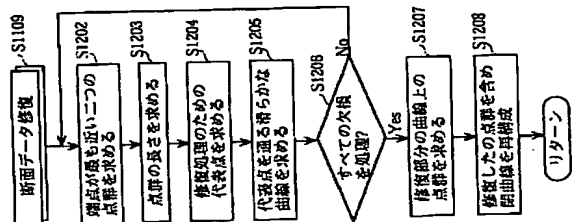
【図27】



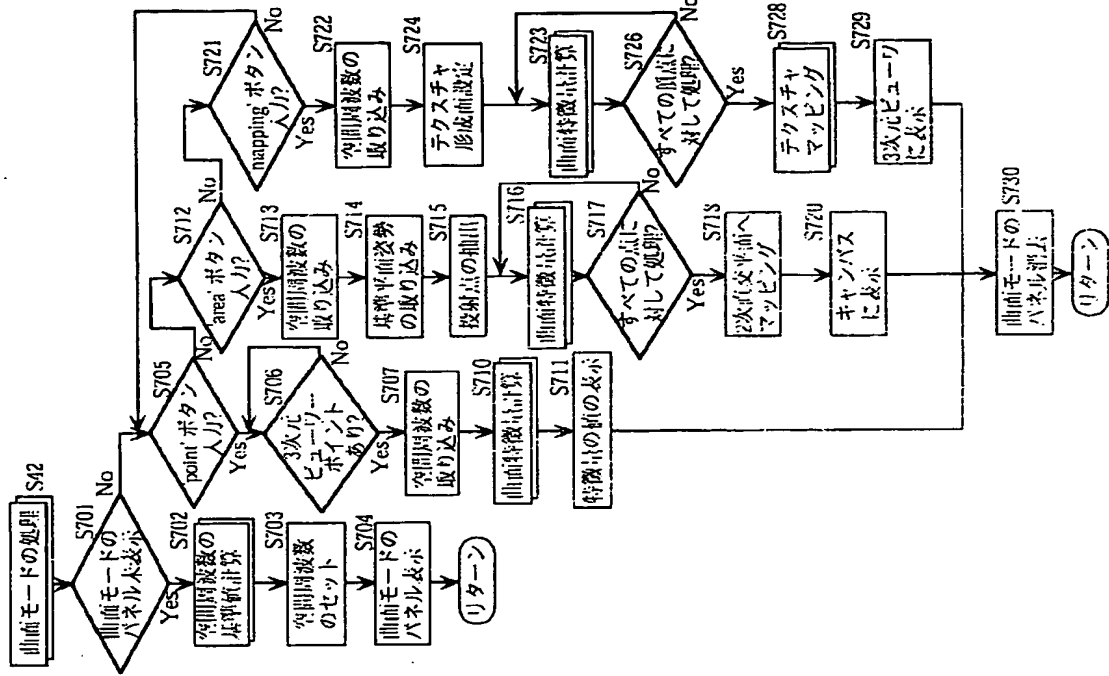
【図29】



【図33】

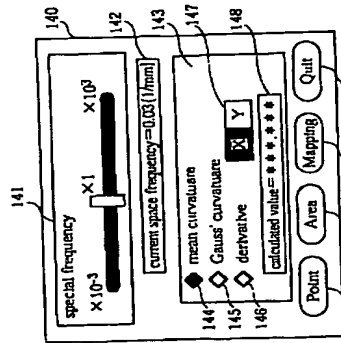


【図28】

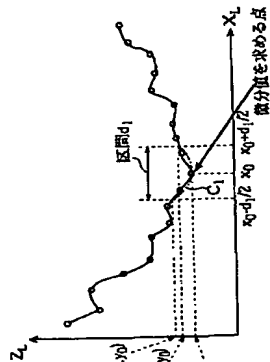




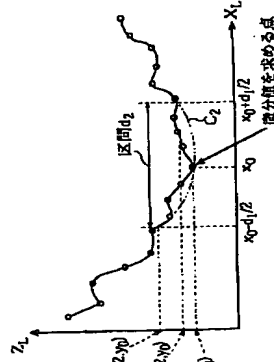
【图31】



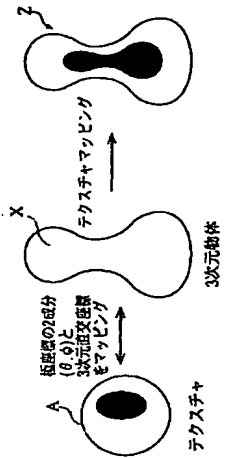
【图32】



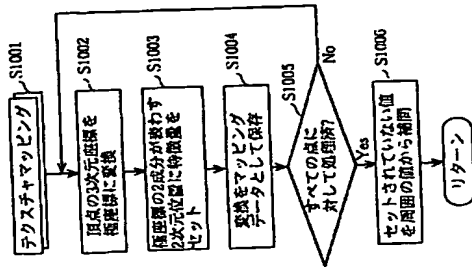
**【☒40】**



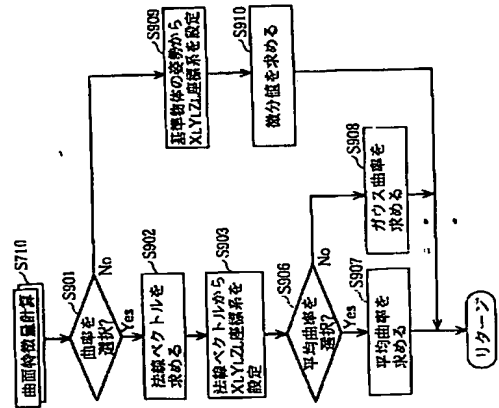
【图36】



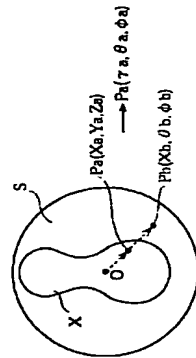
【图38】



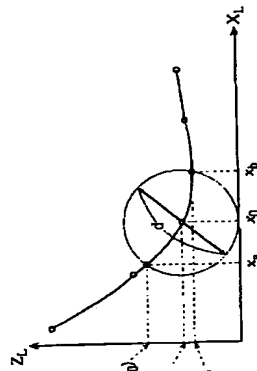
【☒34】



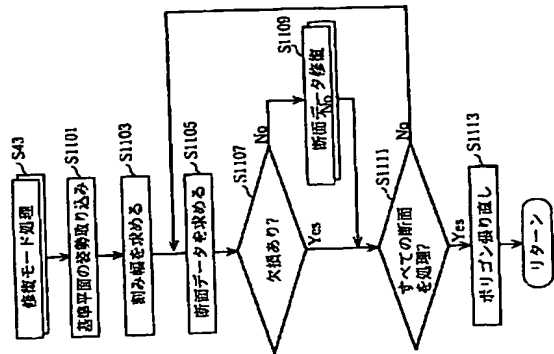
【图37】



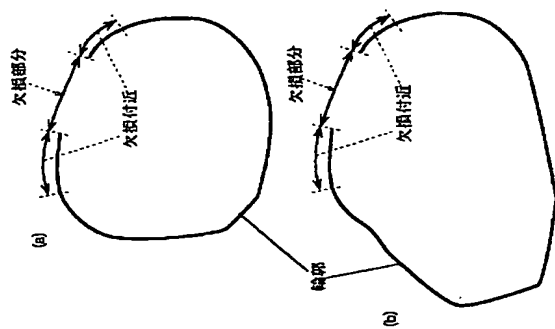
【☒39】



【図41】



【図42】



【図44】

